

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Patentschrift  
10 DE 100 06 378 C 2

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
H 01 L 21/283  
H 01 L 21/265  
H 01 L 21/324

21 Aktenzeichen: 100 06 378.0-33  
22 Anmeldetag: 12. 2. 2000  
43 Offenlegungstag: 6. 9. 2001  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 6. 12. 2001

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:  
Forschungszentrum Rossendorf e.V., 01474  
Schönfeld-Weißig, DE

12 Erfinder:  
Heera, Viton, Dr., 01279 Dresden, DE; Höfgen,  
Alexander, 01936 Großnaundorf, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

US 58 21 157  
EP 04 17 955 A1

HEERA, V., et al., "Crystallization and Surface  
erosion of SiC by ion irradiation at elevated  
temperatures;

54 Verfahren zur Herstellung Ohmscher Kontakte auf Siliziumkarbid-Halbleiterbereichen

57 Die Anwendung der Erfindung ist für Halbleiterbauelemente gegeben, deren Substrat aus kristallinem Siliziumkarbid (nachstehend als SiC bezeichnet) besteht, welches vollständig oder in Bereichen p-dotiert ist. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Ohmsche Kontakte mit geringem Kontaktwiderstand auf p-leitenden SiC-Halbleiterbereichen zu erzeugen, wobei die Maximaltemperatur bei der Prozessführung 1000°C nicht überschreiten soll.

Das Wesen der Erfindung besteht darin, dass vor der Metallschichtabscheidung die Oberflächenschicht des Siliziumkarbid-Halbleiters durch eine Ionenimplantation amorphisiert und anschließend durch eine weitere Ionenimplantation bei erhöhter Temperatur in eine nanokristalline Phase mit geringem Kontaktwiderstand umgewandelt wird.

Dazu können zur Amorphisierungsimplantation nichtdotierende Ionen, wie Edelgasionen oder Ionen der 4. Hauptgruppe des PSE, ebenso wie dotierende Ionen der 3. Hauptgruppe des PSE verwendet werden. Es sollten während der Amorphisierungsimplantation die Siliziumkarbid-Halbleiterbereiche auf einer Temperatur kleiner als 200°C gehalten werden und die weitere Implantation in einem Temperaturbereich von 300° bis 800°C erfolgen.

DE 100 06 378 C 2

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung ohmscher Kontakte auf Siliziumkarbid-Halbleiterbereichen. Die Anwendung der Erfindung ist für Halbleiterbauelemente gegeben, deren Substrat aus kristallinem Siliziumkarbid (nachstehend als SiC bezeichnet) besteht, welches vollständig oder in Bereichen p-dotiert ist.

[0002] Es ist allgemein bekannt, dass auf der Oberfläche dotierter SiC-Bereiche Kontakte und Leitbahnen mittels abgeschiedener Metallschichtsysteme erzeugt werden können (V. Saxena and A. J. Steckl in SiC Materials and Devices, Semiconductor and Semimetals, Vol. 52 (Yoon Soo Park, ed.)). Zur Ausbildung hinreichend niedriger elektrischer Widerstände und eines ohmschen Verhaltens sind die Grenzflächeneigenschaften zwischen der SiC-Oberfläche und der aufgetragenen Metallschicht von entscheidender Bedeutung (M. J. Bozack, Phys. stat. sol. (b) 202, 549 (1997)). Mechanische, thermische und chemische Vorbehandlungen der SiC-Oberfläche sind erforderlich (DE 44 06 769 C2). Zusätzlich müssen die Grenzflächenbereiche entsprechend dotiert werden. Insbesondere bei der Herstellung von ohmschen Kontakten auf p-dotierten SiC-Bereichen ergeben sich durch die Existenz hoher Schottkybarrieren zwischen dem Halbleiter-Metall-Übergang nachstehende Schwierigkeiten: Durch eine extrem hohe Grenzflächendotierung mittels Ionenimplantation, Diffusion oder Legierungsbildung wird versucht, den Kontakt über Ladungsträgertunnelung durch die Barriere zu ermöglichen. Dieses Verfahren hat aber den entscheidenden Nachteil, dass zur Formierung der Kontakte Ausheilschritte bei sehr hohen Temperaturen von 900° bis teilweise 2000°C notwendig sind. Bei diesen Temperaturen kann es zu einer Schädigung oder sogar Zerstörung bereits im Vorfeld erzeugter Bauelementestrukturen im SiC-Substrat kommen.

[0003] Aus der EP 04 17 955 A1 ist es bekannt amorphe Siliziumschichten auf Siliziumsubstraten durch einen ersten Implantationsschritt zu erzeugen, um dadurch in einem zweiten Implantationsschritt zur Dotierungserzeugung "channeling Effekte" zu vermeiden. Jedoch werden diese amorphen Schichten durch eine nachfolgende Temperaturbehandlung zur Bildung elektrischer Kontakte rekristallisiert.

[0004] Auch ist es aus dem Artikel "Crystallization and surface erosion of SiC by ion irradiation at elevated temperatures" von Heera et al. im J. of Appl. Phys., Vol. 85, 1999, Seite 1378- 1386, bekannt, statt des üblichen nach der Implantation erfolgenden Ausheilschrittes ein in-situ Annealing durch hohe Implantationsdosen bei Temperaturen von nur 500°C zu erreichen. Dort werden amorphe SiC-Schichten mittels eines ersten Implantationsschrittes erzeugt und mittels eines zweiten Implantationsschrittes rekristallisiert bzw. in eine nanokristalline Phase umgewandelt. Jedoch geht daraus kein Hinweis auf vorteilhafte elektrische Eigenschaften dieser rekristallisierten Siliziumkarbidsschicht hervor, der eine Verwendung zur Herstellung ohmscher Kontakte nahelegt.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ohmsche Kontakte mit geringem Kontaktwiderstand auf p-leitenden SiC-Halbleiterbereichen zu erzeugen, wobei die Maximaltemperatur bei der Prozessführung 1000°C nicht überschreiten soll.

[0006] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit den im Patentanspruch 1 ausgeführten Merkmalen gelöst. Aus- und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0007] Ansatzpunkt der Erfindung sind einkristalline SiC-Substrate (z. B. 6H- oder 4H-SiC) die vollständig oder in

Bereichen p-dotiert sind oder durch Ionenimplantation dotiert werden (Dotierungsimplantation). Oberflächenbereiche dieser dotierten einkristallinen SiC-Substrate werden mittels Ionenimplantation zunächst amorphisiert (Amorphisierungsimplantation) und danach durch eine weitere Ionenimplantation rekristallisiert (Rekristallisationsimplantation). Anschließend erfolgt eine Abscheidung einer Metallschicht bzw. eines Metallschichtsystems. Die Implantationen können auch nach Abscheidung einer dünnen Metallschicht auf das SiC-Substrat durch diese hindurch erfolgen. In diesem Fall muß die Metallschicht dünner als die Reichweite der Ionen sein, im allgemeinen dünner als 500 nm. Nach den Implantationen können weitere Metallschichten abgeschieden werden.

[0008] Die Dotierungsimplantation erfolgt mit Ionen der 3. Hauptgruppe oberhalb einer Substrattemperatur von 300°C. Die Amorphisierungsimplantation der SiC-Oberflächenschicht wird bei einer Substrattemperatur unterhalb 200°C, typischerweise bei Raumtemperatur ausgeführt. Die Amorphisierung kann mit nichtdotierenden Edelgasionen und Ionen der 4. Hauptgruppe (z. B. C, Si, Ge) oder dotierenden Ionen der 3. Hauptgruppe (B, Al, Ga) erfolgen. Energie und Dosis der Ionen werden dabei so gewählt, dass eine homogene, vollständig amorphisierte Schicht mit einer Dicke von 50 bis 500 nm entsteht. Als Anhaltspunkt zur Bestimmung der Amorphisierungsdosis gilt, dass die durch die Implantation eingebrachte Energiedichte der Kern-Kern-Stöße (nukleare Energiedeposition) mindestens  $2 \times 10^{21}$  keV/cm<sup>3</sup> betragen muß. Typische Ionenenergien und Ionendosen liegen in den Bereichen von 20 bis 500 keV und  $1 \times 10^{14}$  cm<sup>-2</sup> bis  $1 \times 10^{16}$  cm<sup>-2</sup>. Erfindungsgemäß werden in die voramorphisierte Schicht weitere Akzeptorionen bei Substrattemperaturen von mindesten 300°C aber höchstens 800°C implantiert (Rekristallisationsimplantation). Die mittlere projizierte Reichweite der Akzeptorionen muß dabei mindestens die Reichweite der Ionen im Amorphisierungsschritt erreichen. Die Ionendosis wird so gewählt, dass eine Umwandlung der amorphen in eine nanokristalline 3C-SiC Schicht erfolgt, wobei die Kristallite kleiner als 10 nm sein müssen. Das wird typischerweise bei Ionendosen von  $1 \times 10^{14}$  cm<sup>-2</sup> bis  $1 \times 10^{16}$  cm<sup>-2</sup> erreicht.

[0009] Die Anwendung der Erfindung weist folgende Vorteile auf:

Die Potentialbarrieren für den Löchertransport zwischen Halbleiter und Metall werden reduziert. Dadurch verringert sich der Kontaktwiderstand.

Die thermische Belastung zur Formierung des Kontaktes ist gering. Dadurch werden andere Bauelementestrukturen auf dem Substrat geschont.

Bei Implantation durch eine dünne, abgeschiedene Metallschicht werden durch das Ionenstrahlmischen an der Grenzfläche störende Defekt- und Kontaminationszonen beseitigt. Weiterhin wird die Haftfestigkeit der Metallschicht erhöht. Das anisotrope Leitungsverhalten in einkristallinem SiC wird durch die Ausbildung einer isotropen, nanokristallinen SiC-Schicht beseitigt.

Das verwendete Verfahren der Ionenimplantation ist voll kompatibel mit anderen Prozessschritten bei der Herstellung von SiC-Halbleiterbauelementen. So erfolgt auch die selektive Dotierung von SiC-Halbleitersubstraten mittels Ionenimplantation.

Die laterale Strukturierung kann durch übliche Maskentechniken in hoher Genauigkeit erfolgen. Tiefenposition und vertikale Ausdehnung können sehr exakt über die Implantationsparameter Ionenenergie und Ionendosis bestimmt werden.

[0010] Die Erfindung wird nachstehend an drei Ausführungsbeispielen erläutert:

## Ausführungsbeispiel 1

[0011] Ein schwach p-dotiertes 6H-SiC-Substrat wird bei Raumtemperatur mit Aluminiumionen (Ionenenergie: 300 keV, Ionendosis  $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ ) implantiert. Anschließend wird das Substrat in der Implantationskammer unter Hochvakuum bis auf 500°C aufgeheizt und mit 300 keV Aluminiumionen bis zu einer Gesamtdosis von  $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$  implantiert. Nach einer naßchemischen Reinigung der Oberfläche wird eine Aluminiumschicht auf das implantierte SiC-Substrat abgeschieden.

## Ausführungsbeispiel 2

[0012] Ein undotiertes 4H-SiC Substrat wird durch Implantation von 200 keV  $5 \times 10^{16} \text{ B}^+ \text{ cm}^{-2}$  bei 800°C dotiert. Durch eine weitere Implantation von 100 keV  $5 \times 10^{14} \text{ Si}^+ \text{ cm}^{-2}$  bei Raumtemperatur wird eine amorphe Oberflächenschicht erzeugt. Im Hochvakuum wird eine 200 nm dicke Al-Schicht aufgedampft. Anschließend erfolgt eine Implantation von 500 keV  $5 \times 10^{16} \text{ Al}^+ \text{ cm}^{-2}$  bei 600°C. Abschließend wird durch eine weitere Abscheidung von 10 µm Al der Kontakt fertiggestellt.

## Ausführungsbeispiel 3

[0013] Eine hochdotierte, p-leitende 6H-SiC Epitaxialschicht auf einem undotierten, mit flüssigen Stickstoff auf -50°C gekühltem 6H-SiC Substrat wird mit 200 keV  $1 \times 10^{14} \text{ Xe}^+ \text{ cm}^{-2}$  implantiert. Die dadurch erzeugte amorphe Oberflächenschicht wird mittels Implantation von 100 keV  $1 \times 10^{17} \text{ B}^+ \text{ cm}^{-2}$  bei 450°C rekristallisiert. Abschließend wird eine Schicht aus einer Al-Ti-Legierung aufgedampft die für 30 min bei 800°C unter Ar-Schutzgas ausgeheilt wird.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung ohmscher Kontakte auf Siliziumkarbid-Halbleiterbereichen, bei dem mittels an sich bekannter Metallschichtabscheidung das Kontaktmaterial aufgebracht wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor der Metallschichtabscheidung die Oberflächenschicht des Siliziumkarbid-Halbleiters durch eine Ionenimplantation amorphisiert und anschließend durch eine weitere Ionenimplantation bei erhöhter Temperatur in eine nanokristalline Phase mit geringem Kontaktwiderstand umgewandelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Amorphisierungsimplantation nichtdotierende Ionen verwendet werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass als nichtdotierende Ionen Ionen der 4 Hauptgruppe des Periodischen Systems der Elemente (PSE) verwendet werden.
4. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass als nichtdotierende Ionen Edelgasionen verwendet werden.
5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Amorphisierungsimplantation dotierende Ionen der 3. Hauptgruppe des PSE verwendet werden.
6. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass während der Amorphisierungsimplantation die Siliziumkarbid-Halbleiterbereiche auf einer Temperatur kleiner als 200°C gehalten werden und dass die weitere Implantation in einem Temperaturbereich von 300°C bis 800°C erfolgt.

- Leerseite -

**Production of ohmic contacts on silicon carbide semiconductor regions comprises making the semiconductor regions amorphous by ion implantation**

Patent Number: DE10006378  
Publication date: 2001-09-06  
Inventor(s): HOEFGEN ALEXANDER (DE); HEERA VITON (DE)  
Applicant(s): ROSSENDORF FORSCHZENT (DE)  
Requested Patent: DE10006378  
Application Number: DE20001006378 20000212  
Priority Number(s): DE20001006378 20000212  
IPC Classification: H01L21/283; H01L21/265; H01L21/324  
EC Classification: H01L21/04H10A  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

Production of ohmic contacts on silicon carbide semiconductor regions comprises making the semiconductor regions amorphous by ion implantation, and converting into a nanocrystalline phase with low contact resistance by a further ion implantation at elevated temperature before the contact material is applied using metal layer deposition. Preferred Features: The first ion implantation is carried out using non-doped ions of group IVa elements or noble gas ions. During the first ion implantation, the semiconductor regions are maintained at less than 200 deg C. The further ion implantation is carried out at 300-800 deg C.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

DOCKET NO: UUH-12841

SERIAL NO:

APPLICANT: A. Mander et al.

LERNER AND GREENBERG P.A.

P.O. BOX 2480

HOLLYWOOD, FLORIDA 33022

TEL. (954) 925-1100